doi:10.13866/j.azr.2020.01.01

塔里木河下游植被种间关系与稳定性分析①

史浩伯[1]， 陈亚宁[2]， 李卫红[2]， 孙桂丽[1,3]

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院,新疆 乌鲁木齐 830000;
2. 中国科学院新疆生态与地理研究所/荒漠与绿洲生态国家重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830011;
3. 干旱区林业生态与产业技术重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 在样方调查的基础上,对塔里木河下游的英苏、喀尔达依、阿拉干和依干不及麻 4 个监测断面的样地植被状况进行调查,在 2×2 列联表基础上,采用方差比率法(VR),应用联结系数(AC)、χ^2 检验与 M. Godron 稳定性测度方法对植被群落进行了种间联结分析与稳定性研究,得到如下结论:① 总体相关性检验结果表明,4 个断面中没有出现显著正联结的植物群落,塔里木河下游植物群落演替目前尚未达到稳定水平,且阿拉干与依干不及麻断面的植物群落正处于发育初期。② 植物群落种间关系不显著,分布松散,更倾向于独立分布。群落的结构不稳定,存在于同一个样地内种对之间的依赖性不强,个别区域植物群落物种之间存在一定的竞争关系与排它作用。③ 根据已有的种间关系,可将塔里木河下游的植物群落划分为 3 个生态种组。

关键词: 植被; 种间联结; 种间关系; 稳定性; 塔里木河下游

植物群落的物种之间存在着多种联系,既有互助性[1],又有对抗性[2],在判断种间关系的时候一般会运用种间联结性来说明物种之间的这种特性,它作为对群落结构方面研究的基础,对维持群落稳定性具有重要意义。国内对种间关系的分析多集中于对群落外在现象的描述,包括种间联结测定技术[3]、种间关系与生态位[4]、种间联结性与物种多样性[5]以及植物种群分布格局与种间关系的探讨[6]。种间关系作为群落结构研究的基础,是群落发展过程中数量关系的体现。

塔里木河地处新疆南部,流域内生态问题十分严重,为解决日益恶化的生态环境问题,自 2000 年开始启动了对下游的应急输水措施。我国部分学者也对塔里木河流域应急输水后的植物群落进行了一系列的研究,相关研究主要包括植被对生态输水的响应[7],水分干扰对物种多样性的影响[8],群落结构特征分析[9]以及对植被生态需水量的估算[10]。针对群落稳定性的研究,徐俏等[11]认为生态输水以来植物群落的稳定性已逐步提高,但仍处于不稳定状态。到目前为止,对于塔里木河下游完整河段的河岸植被种间联结性的研究及其与群落稳定性之间的关系,尚无详细说明与阐述。本研究旨在说明第 19 次生态输水后的塔里木河下游河岸植物群落的整体相关性,结合 M. Godron 稳定性测度方法对群落稳定性与演替状态进行评估,同时对种间联结性进行分析,以期揭示不同植物组成对塔里木河下游植物群落的恢复作用,进而有针对性的对塔里木河下游植物群落进行保育管理,为促进塔里木河下游植被恢复与重建提供理论依据。

1 研究区概况

塔里木河下游位于新疆南部,介于塔克拉玛干沙漠与库木塔格沙漠之间,一般指恰拉以下至台特玛湖的河段,长 428 km,是塔里木河流域风沙、浮尘等恶劣天气最为严重的区域,具有降水稀少、蒸发强烈、土地荒漠化严重等特点。年平均气温 10.6 ~ 11.5 ℃。夏季炎热,曾出现过 43.6 ℃的高温;冬季寒冷,最低气温 -31 ℃。多年平均降水量为 17.4 ~ 42.8 mm,干旱指数自北向南,自西向东逐渐增大,生态环境极为脆弱。

① **收稿日期:** 2019-01-27; **修订日期:** 2019-03-26
基金项目: 国家林业局软科学项目(2016-R25-1);中国科学院科技服务网络计划(STS 计划)课题(KFJ-STS-ZDTP-036);国家自然科学基金项目(41861046,41361093)资助
作者简介: 史浩伯(1995-),男,硕士研究生,从事干旱区生态与恢复方面研究. E-mail:815154549@qq.com
通讯作者: 孙桂丽. E-mail:sxfgl@126.com

2 研究方法

2.1 试验设计

以塔里木河下游布设的固定监测断面为基础，参照相关研究[12]，分别选取中度退化区的英苏、重度退化区的喀尔达依和阿拉干、极度退化区的依干不及麻4个代表性的典型断面作为研究地点，每两个相邻断面间距30～50 km，调查方式采用固定样方法[13]。在各断面垂直于塔里木河河道的方向分别设立1条监测样带，根据监测样带上已有的监测井所处位置的不同分别选取5块样地：英苏断面的C3，C4，C5，C6，C7；喀尔达依断面的E1，E2，E3，E4，E5；阿拉干断面的G1，G4，G5，G6，G7；依干不及麻断面的H1，H2，H4，H5，H6。在每一监测井附近设置了植物群落调查样地[14]，每个样地设置为50 m × 50 m的固定大样方，如此共设置20个自然样地的固定大样方。将每个大样方划分成4个25 m×25 m的小样方，形成80个测量小样方，测定样方中乔木、灌木、草本植物的数量、高度、冠幅等指标并加以统计整理。

2.2 物种间联结性计算

按照方差比率法[15]（VR）来同时检验多物种间的关联，可以说明在某地出现的多个物种间是否存在显著联结性，计算公式如下：

$$\mathrm{VR}=\frac{S_T^2}{Q_T^2}=\frac{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(T_j-t)^2}{\sum_{i=1}^{s}\frac{n_i}{N}\left(1-\frac{n_i}{N}\right)}$$

式中：S为测量的总的物种数；N为测量的总样方数量；T_j是样方j中所出现的物种的总数量；n_i为物种i出现的样方数；t为样方中物种的平均数。在独立性假设条件下VR期望值为1。

VR＞1表示物种间为正的关联；VR＜1表示物种间为负的关联。在具体探讨联结性问题时，种间的正负关联在某些情况下是可以抵消的。

另外，选取W（统计量）的方式检验VR值偏离1的显著性[16]：$W=\mathrm{VR}\times N$，若物种间不相关联，则W值落入由χ^2分布给出的界限内的概率有90%。

$$\chi^2_{0.95,N}<W<\chi^2_{0.05,N}$$

2.3 成对物种间联结性测算

测算成对物种间的联结性，一般使用联结系数[17]（AC）来判断种间联结程度，计算公式如下所示：

$$当\ ad \geqslant bc\ 时，\mathrm{AC}=\frac{ad-bc}{(a+b)(b+d)}\times 100$$

$$当\ bc>ad, d \geqslant a\ 时，\mathrm{AC}=\frac{ad-bc}{(a+b)(a+c)}\times 100$$

$$当\ bc>ad, d<a\ 时，\mathrm{AC}=\frac{ad-bc}{(b+d)(c+d)}\times 100$$

式中：a是指成对的物种共同出现的样地数；b是只有物种A出现的样地数；c是只有物种B出现的样地数；d是成对物种都没有出现的样地数。

联结系数（AC）的值域为〔－1，1〕，当AC的值越趋近于1时，表明这两种物种之间的正联结性越强，成对的物种之间也就更倾向于同时出现；当AC的值越趋近于－1时，则说明这两种物种之间的负联结性越强，成对的物种间存在着排斥关系。

选取χ^2统计量对种对关联状态的结果进行独立性检验，χ^2的值运用Yates[18]连续校正公式进行计算，方法如下：

$$\chi^2=\frac{N\left(|ad-bc|-0.5N\right)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

式中：N指的是样方数量；对于χ^2的理论值，普遍认为遵循自由度为1时的$P_{0.05}$和$P_{0.01}$的值，得到种对之间联结性的显著与否的结果。当$\chi^2<3.841$（$0.05<P<0.1$）时，种间联结性表现为不显著的状态；当$3.841<\chi^2<6.635$（$0.01<P<0.05$）时，认为种间存在一定的显著联结，当$\chi^2>6.635$时（$P<0.01$），认为种间存在极显著联结。

2.4 植物群落稳定性测算

群落稳定性测度方法采用M. Godron稳定性测定方法[19]。以群落物种累积百分数和相对频度累积百分数设立横纵坐标轴并做散点图，以一条平滑曲线将各点串连起来。另外，做一条经过（0，100）、（100，0）的线段，该线段与平滑曲线的交点即为所求点。所求点越接近（20，80），群落就越稳定；相反，所求点离（20，80）越远，群落稳定性就越差。

3 结果与分析

3.1 群落组成与分析

在塔里木河下游设置的各样方中，共统计到13种植物，如表1所示。

从调查结果可以看出，当前塔里木河下游植物以杨柳科、柽柳科和藜科为主。物种组成是以胡杨

表 1　主要物种种名及拉丁学名

Tab. 1　The main plant species

编号	物种名称	拉丁名
1	胡杨	*Populus euphratica*
2	黑果枸杞	*Lycium ruthenicum*
3	柽柳	*Tamarix chinensis*
4	骆驼刺	*Alhagi sparsifolia*
5	河西菊	*Hexinia polydichotoma*
6	甘草	*Glycyrrhiza uralensis*
7	芦苇	*Phragmites australis*
8	铃铛刺	*Halimodendron halodendron*
9	大叶白麻	*Poacynum hendersonii*
10	假苇拂子茅	*Calamagrostis pseudophragmites*
11	苦马豆	*Swainsonia salsula*
12	猪毛菜	*Salsola collina*
13	罗布麻	*Apocynum venetum*

(*Populus euphratica*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)以及骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)为主要的组成成分,辅以一些荒漠地区常见的草本植物,构成了塔里木河下游的主要植物群体。

3.2　种群总体相关性检验

根据已有数据,对塔里木河下游 4 个监测断面的样带进行种群整体相关性检验,结果如表 2 所示。

表 2　物种总体相关性检验结果

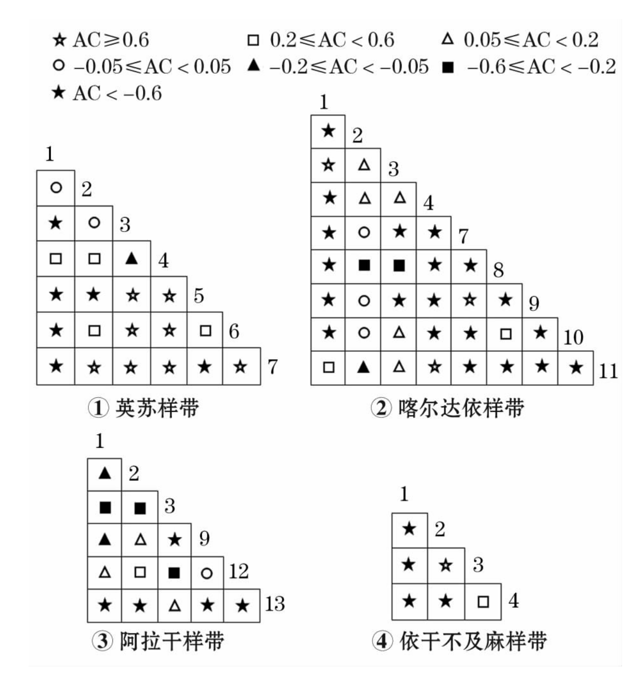
Tab. 2　Test results of the overall correlation of plant species

	英苏	喀尔达依	阿拉干	依干不及麻
VR	1.06	0.864	0.668	0.496
χ^2	21.2	17.28	13.36	9.92

VR 值能在一定程度上反映群落整体的关联程度,英苏的 VR 值大于 1,且 $\chi^2_{0.95,20}<21.2<\chi^2_{0.05,20}$,说明该断面样地内的种群整体联结性为不显著的正联结;喀尔达依的 VR 值小于 1,$\chi^2_{0.95,20}<17.28<\chi^2_{0.05,20}$,说明该断面的样地内植物种群整体联结性为不显著的负联结;阿拉干的 VR 值小于 1,$\chi^2_{0.95,20}<13.36<\chi^2_{0.05,20}$,证明阿拉干断面的整体联结性也表现为不显著的负联结;依干不及麻的 VR 值小于 1,且 $\chi^2_{0.95,20}<9.96$,不在显著性检验的范围内,说明依干不及麻断面的整体联结性表现为显著的负关联。

3.3　成对物种种间关联强度

对各断面的物种种间关联强度进行检验,由图 1 可以看出,断面所处位置不同,物种与物种之间的联结状况也有所差别。英苏断面正联结 12 对,负联结 6 对;喀尔达依断面正联结 5 对,负联结 22 对;阿



注:物种编号同表 1。下同。

图 1　塔里木河下游 4 断面种间 AC 值半矩阵

Fig. 1　Semi-matrix of interspecific AC values along four sections in the lower reaches of the Tarim River (the serial numbers of plant species are consistent with those in Tab. 1)

拉干断面正联结 1 对,负联结 8 对;依干不及麻断面正联结 2 对,负联结 4 对,其余物种的关联程度较小。当前,塔里木河下游的喀尔达依、阿拉干和依干不及麻断面植物群落负联结种对数量高于正联结。

3.4　成对物种的关联显著性

χ^2 检验能够较为准确地说明物种种对之间关联的显著程度,检验结果如图 2 所示。

根据 χ^2 显著性检验半矩阵图的研究表明:当前,植物群落物种种对之间具有显著性或极显著联结关系的仅有 3 对。其中,显著性负联结对数有 2 对,占所有负联结种对数量的 11.76%;显著性正联结对数仅有 1 对,占所有正联结种对数量的 5.88%。综上所述,塔里木河下游物种之间的关联性较低,相互之间存在的各种作用较弱。虽然塔里木河下游近几年植被恢复呈现出良好的趋势,但作为植被恢复的主要物种之间相关性较小,表明塔里木河下游目前的植被分布较为松散,植物的生长更倾向于以同一物种组成植物群落的生长方式进行演替,物种单一,且呈现斑块分布,并不足以构成植物群落稳定结构。

3.5　生态种组的划分

生态种组指的是群落中生态习性相似的物种的

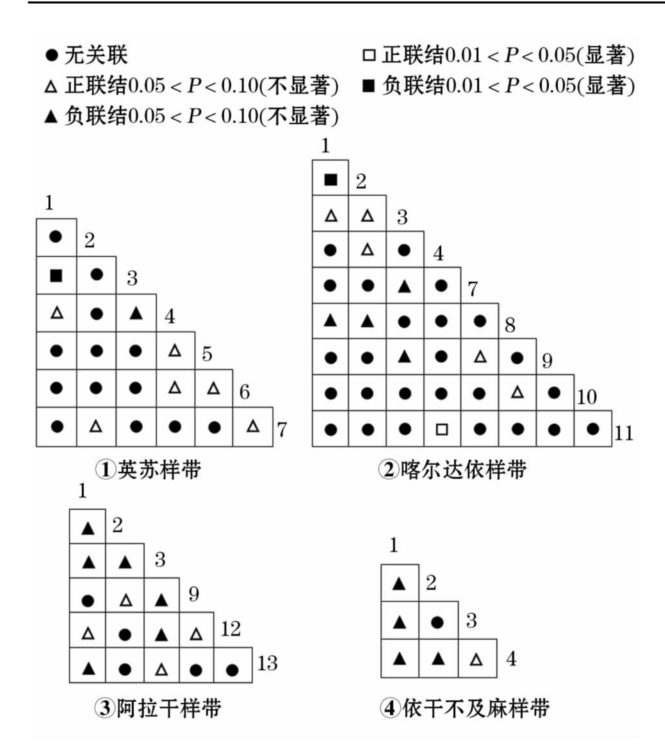


图 2 塔里木河下游 4 断面种间关联性的校正 χ^2 检验值半矩阵

Fig. 2 Semi-matrix of χ^2 test values of interspecific correlation along four sections in the lower reaches of the Tarim River (the serial numbers of plant species are consistent with those in Tab. 1)

组合,为促进塔里木河下游的植被恢复,参照各样地种间联结性分析的结果,以同一生态种组内的种对尽可能大的正联结为原则,将当前的植物群落划分为 3 个生态种组:第一生态种组为胡杨、苦马豆、骆驼刺、猪毛菜。胡杨作为塔里木河下游植被恢复的先锋树种,具有一定的主导作用。猪毛菜与苦马豆均与胡杨呈现出正联结的状态。骆驼刺分布范围较广,对环境要求较低,且与苦马豆之间具有显著的正联结;第二生态种组为黑果枸杞、柽柳、甘草、河西菊。这些物种的生境选择性广,具有耐干旱、耐瘠薄,较能承受高温的特点,且与其他物种均具有一定的正联结;第三生态种组为芦苇、大叶白麻、假苇拂子茅、罗布麻和铃铛刺。这些物种的生长具有一定的随机性,且分布范围较小,属于群落演替过程中偏向边缘化的物种。

3.6 植物群落稳定性分析

根据对图 3 平滑曲线方程的计算可知,英苏、喀尔达依、阿拉干、依干不及麻 4 个断面群落稳定性测量的坐标分别为(32.43,67.57)、(32.77,67.23)、(36.43,63.57)、(35.23,64.77),距离稳定点(20,80)的距离分别为 17.58、18.06、23.24、21.54。以该方法测算的 4 个断面植物群落稳定性结果为:英苏样地 > 喀尔达依样地 > 依干不及麻样地 > 阿拉干样地。

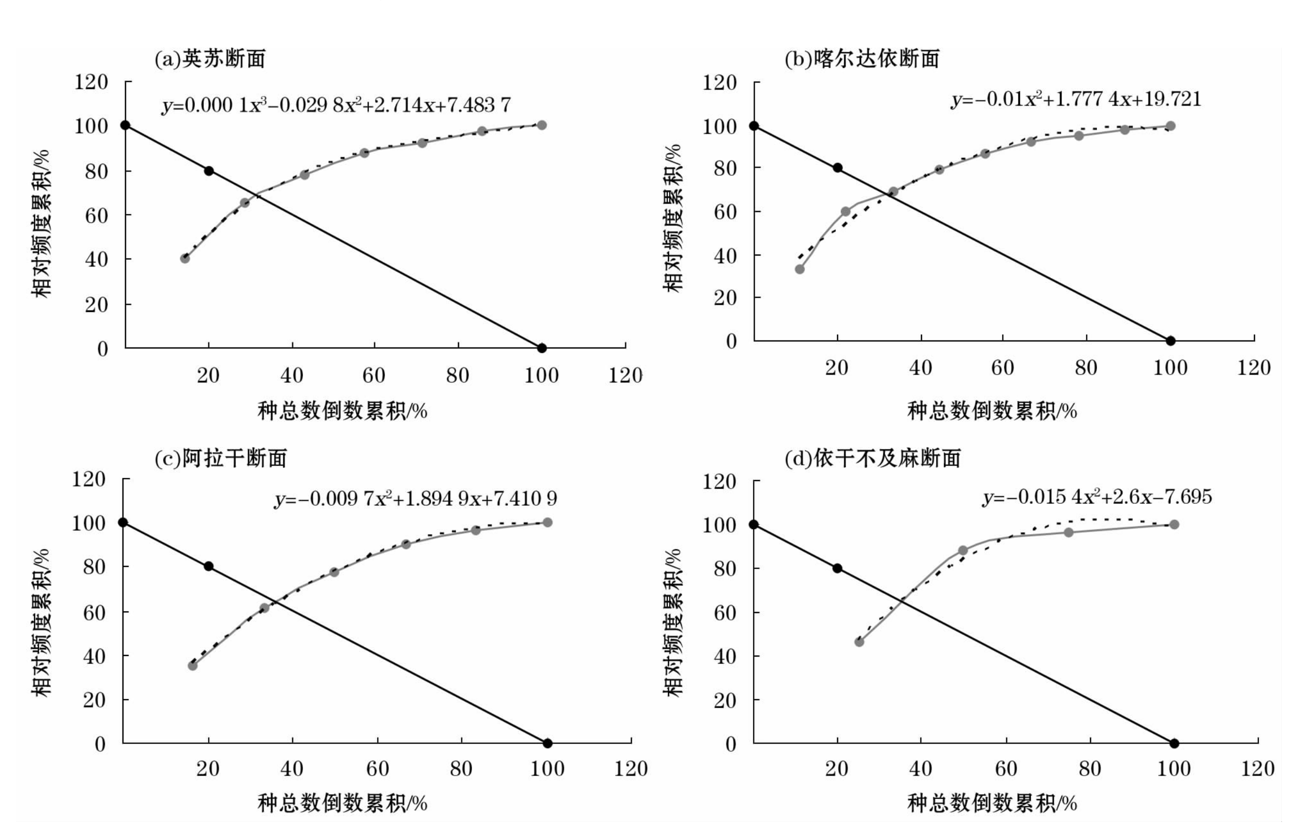


图 3 塔里木河下游 4 断面植物群落稳定性图解

Fig. 3 Graphical stability of plant communities along four sections in the lower reaches of the Tarim River

4 讨 论

4.1 种间关系与共存机制的演变

经典的生态位理论认为,物种在某种(或多种)环境资源利用上存在差异,即物种间存在生态位分化,这是物种共存的基本机制之一[20]。共存的物种为了相同的资源条件会发生竞争,结果是造成一个物种为占据有利的资源而排斥另一个物种。通过对联结系数(AC)的结果分析可知,塔里木河下游喀尔达依、阿拉干和依干不及麻断面均存在负联结种对数量高于正联结的情况。通常认为负联结产生的原因有两点:一是物种间在对资源的竞争中存在排斥关系;二是环境需求的不相似性。由于塔里木河下游的地理位置较为特殊,流域地处库木塔格沙漠与塔克拉玛干沙漠之间,长期以来荒漠化问题较为严重,因此,判断塔里木河下游由于受到极端干旱环境的生态胁迫,导致群落种对之间存在较强的竞争关系。截至目前,生态输水已经取得了良好的成效,植被恢复明显趋于良好,但环境与可利用资源的改变也会使干旱区植被对资源的竞争关系日趋明显。随着生态输水不断进行,环境的演变将使种间竞争这种共存机制发生改变,群落内各物种数量与覆盖度也会随之出现动态变化。换言之,就是具有不同竞争、再生和恢复能力的植物在经过干扰后会出现种间关系的改变,最终达到物种共存的结果。这与赵燕等[21]的研究结果相类似。相比较而言,英苏断面植物群落正联结种对数量高于负联结种对数量,且群落整体已表现为不显著的正联结,很大一部分原因在于该断面位置距离大西海子水库最近,是4个断面受生态输水影响最大的受益区,故该断面的物种已逐步形成稳定共存的植物群落。因此,对今后受生态输水影响的各断面植物群落物种的个体数量动态进行监测,能够总结出促成群落稳定状态的植物组成成分,进而为相似环境状态下的植被恢复提供物种选择的理论依据。而针对各物种具体的竞争关系与共存机制,则需要通过生态位重叠的方式做进一步的研究。

4.2 群落整体相关性与稳定性

根据杜道林等[22]的研究,随着植物群落的不断演替,群落的结构与物种组成会不断完善,种群会不断地趋向正联结,当达到显著正联结的群落时,就演变成成熟稳定的顶级群落。如果以这种方式判断塔里木河下游各监测断面群落稳定性,阿拉干断面应该高于依干不及麻断面。但以 M. Godron 稳定性测度方法来测算群落稳定性,结果表明依干不及麻断面群落稳定性高于阿拉干断面。事实上,群落种间联结性在群落演替的不同阶段有所不同。如果群落处于发育初期,物种生长就会趋向于随机性,并未形成特定的种间关系,因此,单纯以群落整体联结性来判断群落是否稳定存在一定的局限性。鉴于阿拉干与依干不及麻断面种群总体相关性推测的稳定性结果与群落稳定性测量结果的不一致性,判断阿拉干断面和依干不及麻断面的样地群落正处于演替的初期阶段。

4.3 生态输水与群落稳定性

χ^2 显著性检验结果表明,非显著性相关与无相关的种对数量远大于显著性相关的种对数量,塔里木河下游种间联结程度较弱。在群落中,联结程度弱的种对数量占比较大时,环境的干扰对群落的稳定性变化具有决定性作用。根据韩春鲜[23]的研究结果,20世纪90年代后的塔里木河下游人地关系已呈现出良性发展,生态输水对塔里木河下游的补给成为当地环境最主要的有利干扰源。另外,种间联结的测定值本身具有种群生态学特征,它在一定程度上衡量了种间的相互关系和植物对环境综合生态因子反应的差异,故考虑塔里木河下游目前的植物生长状态与当地的环境条件有关,从生态因子的角度分析,水分的供给与土壤的理化性质对植物生长状态的影响最大。综上所述,为保证水分供给,加强群落的稳定性,对塔里木河下游的应急输水依然是当前最快捷有效的生态修复方式。

5 结 论

(1)测定的4个断面中没有出现显著正联结的植物群落,塔里木河下游目前植被演替尚未到达稳定水平,且阿拉干与依干不及麻断面正处于群落演替的初始阶段。

(2)塔里木河下游植被的种间关系不显著,分布松散,更倾向于独立分布。群落的结构不稳定,存在于同一个样地内种对之间的依赖性不强。目前的植物群落存在斑块分布的现象,但物种较为单一。喀尔达依、阿拉干和依干不及麻断面植物群落负联结种对数量高于正联结种对数量,证明该区域的物种之间存在一定的竞争关系与排它作用。

(3)根据种间联结性特征可以将现有种群分为

3 个生态种组，第一生态种组包括胡杨、骆驼刺、苦马豆、猪毛菜；第二生态种组包括黑果枸杞、柽柳、甘草、河西菊；第三生态种组包括芦苇、大叶白麻、假苇拂子茅、罗布麻和铃铛刺。其中第一与第二生态种组的探究对今后塔里木河下游河岸植被恢复与建植具有一定的指导意义。

参考文献(References)：

〔1〕 Benard R B, Toft C A. Fine-scale spatial heterogeneity and seed size determine early seedling survival in a desert perennial shrub (*Ericameria nauseosa*: Asteraceae)〔J〕. Plant Ecology, 2008, 194(2): 195－205.

〔2〕 Jing J Y, Bezemer T M, van der Putten W H. Interspecific competition of early successional plant species in ex-arable fields as influenced by plant-soil feedback〔J〕. Basic and Applied Ecology, 2015, 16(2): 112－119.

〔3〕 刘萍萍，程积民. 植物种间联结关系的研究〔J〕. 水土保持研究，2000，7(2)：179－184. 〔Liu Pingping, Cheng Jimin. Study on the relationship between plant species〔J〕. Soil and Water Conservation Research, 2000, 7(2): 179－184.〕

〔4〕 张东梅，赵文智，罗维成. 荒漠草原带盐碱地优势植物生态位与种间联结〔J〕. 生态学杂志，2018，37(5)：1 307－1 315. 〔Zhang Dongmei, Zhao Wenzhi, Luo Weicheng. The niche and interspecific association of dominant plants in saline-alkali soil in desert steppe〔J〕. Journal of Ecology, 2018, 37(5): 1 307－1 315.〕

〔5〕 刘春生，刘鹏，张志祥，等. 九龙山南方铁杉群落物种多样性及乔木种种间联结性〔J〕. 生态环境，2008，17(4)：1 533－1 540. 〔Liu Chunsheng, Liu Peng, Zhang Zhixiang, et al. Species diversity of *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis* community and arbor interspecificity in the southern Jiulong Mountain〔J〕. Ecology and Environmnet, 2008, 17(4): 1 533－1 540.〕

〔6〕 赵艳云，刘京涛，陆兆华. 渤海湾贝壳堤湿地芦苇种群与蒙古蒿种群空间分布格局和种间关系〔J〕. 湿地科学，2017，15(2)：187－193. 〔Zhao Yanyun, Liu Jingtao, Lu Zhaohua. Spatial distribution pattern and interspecific relationship of *Phragmites australis* population and *Mongolian wormwood* population in Bohai Bay Dike Wetland〔J〕. Journal of Wetland Science, 2017, 15(2): 187－193.〕

〔7〕 陈亚宁，李卫红，陈亚鹏，等. 新疆塔里木河下游柽柳、芦苇对生态输水的响应〔J〕. 冰川冻土，2004，26(5)：595－601. 〔Chen Yaning, Li Weihong, Chen Yapeng, et al. Response of *Tamarix chinensis* and *Phragmites australis* to ecological water transport in the lower reaches of Tarim River, Xinjiang〔J〕. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(5): 595－601.〕

〔8〕 陈永金，刘加珍，陈亚宁，等. 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系〔J〕. 生态学报，2013，33(7)：2 212－2 224. 〔Chen Yongjin, Liu Jiazhen, Chen Yaning, et al. Relationship between species diversity and water factors in the lower reaches of the Tarim River before and after water transfer〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2 212－2 224.〕

〔9〕 白元，徐海量，张鹏，等. 塔里木河下游荒漠植物群落物种多样性及其结构特征分析〔J〕. 生态与农村环境学报，2012，28(5)：486－492. 〔Bai Yuan, Xu Hailiang, Zhang Peng, et al. Analysis of species diversity and structural characteristics of desert plant communities in the lower reaches of Tarim River〔J〕. Journal of Ecology and Rural Environment, 2012, 28(5): 486－492.〕

〔10〕 刘新华，徐海量，凌红波，等. 塔里木河下游生态需水估算〔J〕. 中国沙漠，2013，33(4)：1 198－1 205. 〔Liu Xinhua, Xu Hailiang, Ling Hongbo, et al. Estimation of ecological water demand in the lower reaches of Tarim River〔J〕. Journal of Desert Research, 2013, 33(4): 1 198－1 205.〕

〔11〕 徐俏，叶茂，徐海量，等. 塔里木河下游生态输水对植物群落组成、多样性和稳定性的影响〔J〕. 生态学杂志，2018，37(9)：2 603－2 610. 〔Xu Qiao, Ye Mao, Xu Hailiang, et al. Effects of ecological water transport on plant community composition, diversity and stability in the lower reaches of Tarim River〔J〕. Journal of Ecology, 2018, 37(9): 2 603 －2 610.〕

〔12〕 傅荩仪，徐海量，赵新风，等. 漫溢干扰对塔里木河河岸退化植被的影响〔J〕. 中国沙漠，2014，34(1)：60－66. 〔Fu Jinyi, Xu Hailiang, Zhao Xinfeng, et al. Effects of overflow interference on degraded vegetation on the bank of Tarim River〔J〕. Journal of Desert Research, 2014, 34(1): 60－66.〕

〔13〕 霍红，冯起，苏永红，等. 额济纳绿洲植物群落种间关系和生态位研究〔J〕. 中国沙漠，2013，33(4)：1 027－1 033. 〔Huo Hong, Feng Qi, Su Yonghong, et al. Study on the interspecific relationship and niche of plant communities in Ejina Oasis〔J〕. Journal of Desert Research, 2013, 33(4): 1 027－1 033.〕

〔14〕 陈永金，刘加珍，陈亚宁，等. 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系〔J〕. 生态学报，2013，33(7)：2 212－2 224. 〔Chen Yongjin, Liu Jiazhen, Chen Yaning, et al. Relationship between species diversity and water factors in the lower reaches of the Tarim River before and after water transfer〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2 212－2 224.〕

〔15〕 陶冶，刘彤，邱东，等. 天山西部果子沟地区拟南芥生存群落种间联结性分析〔J〕. 干旱区地理，2010，33(6)：930－938. 〔Tao Ye, Liu Tong, Qiu Dong, et al. Analysis of interspecific association of *Arabidopsis thaliana* survival community in the fruit ditch area of western Tianshan Mountains〔J〕. Arid Land Geography, 2010, 33(6): 930－938.〕

〔16〕 Schluter D. A variance test for detecting species associations, with some example application〔J〕. Ecology, 1984, 65(3): 998－1 005.

〔17〕 郭江超，王孝安，郭华，等. 黄土高原子午岭辽东栎更新层与灌木层物种种间联结分析〔J〕. 干旱区研究，2010，27(3)：344－349. 〔Guo Jiangchao, Wang Xiao'an, Guo Hua, et al. Analysis of interspecific association between the regenerative layer and shrub layer of *Quercus liaotungensis* in the high-atomic Wuling Mountains of Loess Plateau〔J〕. Arid Zone Research, 2010, 27(3): 344－

349.]

〔18〕赵永全,何彤慧,程志,等.银川平原湿地常见植物种间关系研究〔J〕.干旱区研究,2013,30(5):838－844.〔Zhao Yongquan, He Tonghui, Cheng Zhi, et al. Study on the relationship between common plants in wetland of Yinchuan Plain〔J〕. Arid Zone Research,2013,30(5):838－844.〕

〔19〕吕光辉,杜昕,杨建军,等.阜康绿洲－荒漠交错带荒漠植被群落稳定性〔J〕.干旱区地理,2007,30(5):660－665.〔Lü Guanghui, Du Xin, Yang Jianjun, et al. Stability of desert vegetation community in the Oasis-Desert Zone of the Fukang〔J〕. Arid Land Geography,2007,30(5):660－665.〕

〔20〕张先平,王孟本,张伟锋,等.庞泉沟国家自然保护区森林群落木本植物种间关系的分析〔J〕.植物研究,2007,27(3):350－355,371.〔Zhang Xianping, Wang Mengben, Zhang Weifeng, et al. Analysis of interspecific relationships of woody plants in forest communities in Pangquangou National Nature Reserve〔J〕. Plant Research,2007,27(3):350－355,371.〕

〔21〕赵燕,杜文华.青藏高原东缘垂穗披碱草草地群落组成及生产力〔J〕.草业科学,2018,35(12):2 978－2 987.〔Zhao Yan, Du Wenhua. Community composition and productivity of *Elymus nutans* in the Eastern margin of the Qinghai-Xizang Plateau〔J〕. Prataculturalscience,2018,35(12):2 978－2 987.〕

〔22〕杜道林,刘玉成,苏洁.四川缙云山大头茶与森林优势种群间联结性研究〔J〕.西南师范大学学报(自然科学版),1995,20(1):66－72.〔Du Daolin, Liu Yucheng, Su Jie. Study on the association between *Polyspora axillaris* and forest dominant populations in Jinyun Mountain, Sichuan Province〔J〕. Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition),1995,20(1):66－72.〕

〔23〕韩春鲜.环境约束下塔里木河下游地区人类活动的历史演进〔J〕.冰川冻土,2010,32(4):677－685.〔Han Chunxian. Historical evolution of human activities in the lower reaches of the Tarim River under environmental constraints〔J〕. Journal of Glaciology and Geocryology,2010,32(4):677－685.〕

Interspecific Association and Stability of Vegetation in the Lower Reaches of the Tarim River

SHI Hao-bo[1], CHEN Ya-ning[2], LI Wei-hong[2], SUN Gui-li[1,3]

(1. *College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China*;
2. *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi* 830011, *Xinjiang, China*;
3. *Key Laboratory of Forestry Ecology and Industrial Technology in Arid Area, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China*)

Abstract: On the basis of plot survey, the vegetation status along the four monitoring sections including Yengisu, Karday, Aragan and Yiganbjima in the lower reaches of the Tarim River was investigated. Based on the 2×2 contingency tables, the variance ratio method (VR), correlation coefficient (AC), χ^2 test and M. Godron stability measurement were used to research the interspecific association and stability of the plant communities in the lower reaches of the Tarim River. The test results of the overall correlation revealed that there were no the plant communities with significantly positive associations along the four sections. The vegetation succession in the study area did not reach a stable level yet, and the plant communities along the Aragan and Yiganbjima sections were still at the early developing stage. The interspecific association of the vegetation communities was not significant, the distribution was loose and even independent. Structure of the communities was unstable, and the dependence among the species in the same plot was not strong. There was a certain competition and exclusive effect between the plant species in some plant communities. According to the interspecific association, the plant communities in the lower reaches of the Tarim River could be divided into three ecological species groups.

Key words: vegetation; interspecific association; interspecific relationship; stability; lower reaches of the Tarim River